

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 6 月 16 日 (16.06.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/054529 A1

(51) 国際特許分類: C22C 21/02, 1/04, B22F 3/17, 3/20

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/017949

(22) 国際出願日: 2004 年 12 月 2 日 (02.12.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2003-403082 2003 年 12 月 2 日 (02.12.2003) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電
工焼結合金株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC SIN-
TERED ALLOY, LTD.) [JP/JP]; 〒7160192 岡山県高梁市成羽町成羽 2 9 0 1 番地 Okayama (JP). 本田技研
工業株式会社 (HONDA MOTOR CO., LTD.) [JP/JP];
〒1078556 東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号 Tokyo
(JP).

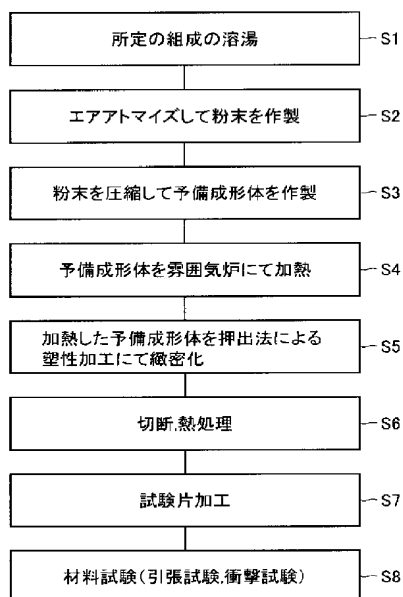
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 徳岡 輝和
(TOKUOKA, Terukazu) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊
丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友電気工業株式会社伊
丹製作所内 Hyogo (JP). 鍛冶 俊彦 (KAJI, Toshihiko)
[JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番
1 号 住友電工焼結合金株式会社内 Hyogo (JP). 堀村
弘幸 (HORIMURA, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒3510193 埼
玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術
研究所内 Saitama (JP). 岡 知生 (OKA, Tomoo) [JP/JP];
〒3510193 埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式
会社本田技術研究所内 Saitama (JP).

[続葉有]

(54) Title: HEAT-RESISTANT AND HIGHLY TOUGH ALUMINUM ALLOY AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF
AND ENGINE PARTS

(54) 発明の名称: 耐熱・高靱性アルミニウム合金およびその製造方法ならびにエンジン部品



- S1 MOLTEN ALLOY HAVING SPECIFIC COMPOSITION
 S2 PREPARATION OF POWDER BY AIR ATOMIZATION
 S3 PREPARATION OF PRE-FORMED ARTICLE BY COMPRESSION OF POWDER
 S4 HEATING PRE-FORMED ARTICLE IN ATMOSPHERIC OVEN
 S5 COMPACTING HOT PRE-FORMED ARTICLE BY PLASTIC WORKING WITH EXTRUDING METHOD
 S6 CUTTING, HEAT TREATMENT
 S7 FORMATION OF TEST SPECIMEN
 S8 MATERIAL TEST (TENSILE TEST, IMPACT TEST)

(57) Abstract: A heat-resistant and highly tough aluminum alloy, which has a chemical composition, in mass %, that silicon: 10 to 16 %, iron: 1 to 3 %, nickel: 1 to 2 %, one or more of titanium, zirconium, chromium and vanadium: 0.5 to 3 % in total, copper: 0.6 to 3 %, magnesium: 0.2 to 2 %, and the balance: substantially aluminum, is produced by compacting an aluminum alloy powder prepared by a gas atomization method, and has an average grain diameter of silicon of 4 μ m or less; a method for producing the heat-resistant and highly tough aluminum alloy; and engine parts comprising the alloy. The above aluminum alloy offers good balance of the strength at a temperature from room temperature to about 300°C and ductility, and also exhibits high fracture toughness.

(57) 要約: 室温から 300°C 程度までの強度と延性とのバランスが取れ、破壊靱性も高い、耐熱・高靱性アルミニウム合金およびその製造方法ならびにエンジン部品を提供する。本発明の耐熱・高靱性アルミニウム合金は、シリコンを 10~16 mass %、鉄を 1~3 mass %、ニッケルを 1~2 mass %、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムの 1 種以上を総量で 0.5~3 mass %、銅を 0.6~3 mass %、マグネシウムを 0.2~2 mass % 含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成を有し、かつガスアトマイズにより作製するアルミニウム合金粉末を緻密化して得られ、かつシリコンの平均結晶粒径が 4 μ m 以下である。



(74) 代理人: 鎌田 文二, 外(KAMADA, Bunji et al.); 〒5420073 大阪府大阪市中央区日本橋 1 丁目 1 8 番 1 2 号 Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 *PCT* ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

耐熱・高靱性アルミニウム合金およびその製造方法ならびにエンジン部品

技術分野

[0001] 本発明は、耐熱・高靱性アルミニウム合金およびその製造方法ならびにエンジン部品に関し、特に、耐熱性と靱性を要求される自動車エンジン部品用、特にピストン用材料として最適な、急冷凝固法を用いた耐熱・高靱性アルミニウム合金に関するものである。

背景技術

[0002] Al(アルミニウム)－Si(シリコン)－遷移金属系の耐熱性急冷凝固アルミニウム合金を開示するものには、たとえば特開平11-293374号公報(特許文献1参考)がある。この公報には、Siを10－30mass%、Ti(チタン)を1－5mass%、Fe(鉄)およびNi(ニッケル)の少なくともいずれかを総量で3－10mass%、Mg(マグネシウム)を0.05－1.0mass%含有し、残部が実質的にAlからなり、Siの平均結晶粒径が2 μ m以下であり、Si以外の金属間化合物相の平均粒径が1 μ m以下のアルミニウム合金が示されている。

[0003] またこの公報には、上記のアルミニウム合金を、用途としてたとえばエンジン部品に用いることが開示されている。

特許文献1:特開平11-293374号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記公報に開示されたアルミニウム合金においては、高耐熱性および高耐摩耗性といった特性を有するために、エンジン部品等の好適材料として使用されている。ところで、レース等でエンジンの更なる高負荷運転が要求される場合において、エンジン部品、特にピストンにはより高強度、高靱性、低比重でありながらより軽量でかつ高耐久性が要求されるため、それらの要求を満たす材料の需要が高まっている。

[0005] それゆえ、本発明の目的は、室温から300℃程度までの強度と延性とのバランスが

取れ、破壊靱性も高い、耐熱・高靱性アルミニウム合金およびその製造方法ならびにエンジン部品を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明の耐熱・高靱性アルミニウム合金は、シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム(Zr)、クロム(Cr)およびバナジウム(V)よりなる群から選ばれる1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅(Cu)を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成を有し、かつガスアトマイズにより作製されたアルミニウム合金粉末を緻密化して得られ、かつシリコンの平均結晶粒径が $4\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とするものである。
- [0007] 上記の耐熱・高靱性アルミニウム合金において好ましくは、チタンが0.5mass%以上2mass%以下で含有されている。
- [0008] 上記の耐熱・高靱性アルミニウム合金において好ましくは、当該耐熱・高靱性アルミニウム合金は $2.8\text{Mg}/\text{m}^3$ 以下の密度を有している。
- [0009] 本発明のエンジン部品は、上記のいずれかの耐熱・高靱性アルミニウム合金を熱間塑性加工して製造されたものである。
- [0010] 上記のエンジン部品は、好ましくはピストンである。
- [0011] 本発明の一の耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法は、シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムよりなる群から選ばれる1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下で含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成のアルミニウム合金粉末をガスアトマイズにより作製する工程と、そのアルミニウム合金粉末を冷間にて成形加工して予備成形体を得る工程と、その予備成形体を 400°C 以上 510°C 以下の温度に昇温後、5時間以下の時間、その温度範囲に保持する工程と、その加熱した予備成形体を熱間塑性加工により緻密化して緻密体を得る工程とを備えており、これによりシリコンの平均結晶粒径が $4\mu\text{m}$ 以

下となるようにアルミニウム合金を製造することを特徴とするものである。

- [0012] 本発明の他の耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法は、シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムよりなる群から選ばれる1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下で含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成のアルミニウム合金粉末をガスアトマイズにより作製する工程と、そのアルミニウム合金粉末を冷間にて成形加工して予備成形体を得る工程と、その予備成形体を400℃以上510℃以下の温度に昇温後、5時間以下の時間、その温度範囲に保持する工程と、その加熱した予備成形体を熱間塑性加工により緻密化して緻密体を得る工程と、その緻密体を、上記予備成形体の加熱温度以下の温度に加熱して熱間塑性加工する工程とを備えており、これによりシリコンの平均結晶粒径が4 μ m以下となるようにアルミニウム合金を製造することを特徴とするものである。

- [0013] 上記の耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法において好ましくは、加熱した予備成形体を熱間塑性加工する工程は、押出比6以上で押出加工することを含んでいる。

発明の効果

- [0014] 本願発明者らは、所定の組成のアルミニウム合金粉末をガスアトマイズにより作製した後、緻密化することにより、室温から300℃程度までの強度と延性とのバランスが取れ、破壊靱性も高い、耐熱・高靱性アルミニウム合金が得られることを見出した。このようなアルミニウム合金はピストンなどの自動車エンジン部品に最適である。
- [0015] 本発明の耐熱・高靱性アルミニウム合金において、シリコンは低比重を保ったまま耐熱性を向上させるために重要である。シリコンの含有量を10mass%以上16mass%以下としたのは、この含有量が10mass%未満では高温での強度が低くなり、16mass%を超えると高温での伸びと衝撃値とが低くなるためである。
- [0016] また、鉄は耐熱性を向上させるために重要である。鉄の含有量を1mass%以上3mass%以下としたのは、この含有量が1mass%未満では高温での強度が低くなり、3mass%を超えると高温での伸びと衝撃値とが低くなるためである。

- [0017] また、ニッケルは耐熱性を向上させるために重要である。ニッケルの含有量を1mass%以上2mass%以下としたのは、この含有量が1mass%未満では高温での強度が低くなり、2mass%を超えると高温での伸びと室温での伸びと衝撃値とが低くなるためである。
- [0018] また、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムの1種以上は、アルミニウムと金属間化合物を形成し、結晶生成の核となることにより、組織の微細化を図り、かつ強度を向上させるために重要である。チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムの1種以上の総含有量を0.5mass%以上2mass%以下としたのは、この含有量が0.5mass%未満では高温での強度と室温での強度とが低くなり、2mass%を超えると高温での伸びと室温での伸びと衝撃値とが低くなるためである。
- [0019] また、銅は、室温から200℃付近の温度領域にて、時効析出硬化により強度を向上させるために重要である。銅の含有量を0.6mass%以上3mass%以下としたのは、この含有量が0.6mass%未満では高温での強度と室温での強度とが低くなり、3mass%を超えると衝撃値が低くなり密度が高くなるためである。
- [0020] また、マグネシウム(Mg)は、銅と同様の効果を有する。よって、マグネシウムの含有量を0.2mass%以上2mass%以下としたのは、この含有量が0.2mass%未満では室温での強度が低くなり、2mass%を超えると衝撃値と室温での伸びとが低くなるためである。
- [0021] 上記の耐熱・高靱性アルミニウム合金において比重の小さいチタンが0.5mass%以上2mass%以下で含有されていることにより、アルミニウム合金の比重を小さくすることができ、アルミニウム合金の特性をさらに向上させることができる。
- [0022] 上記の耐熱・高靱性アルミニウム合金において密度を $2.8\text{Mg}/\text{m}^3$ 以下とすることにより、低比重化を図ることができ、部品の軽量化を図ることができる。
- [0023] 本発明のエンジン部品は、上記のいずれかの耐熱・高靱性アルミニウム合金を熱間塑性加工して製造されたものであるため、強度、靱性、低比重を満たし、かつ軽量化、耐久性に優れている。
- [0024] 本発明の一および他の耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法によれば、室温から300℃程度までの強度と延性とのバランスが取れ、破壊靱性も高い、耐熱・高靱

性アルミニウム合金を製造することができる。また、緻密体を予備成形体の加熱温度以下の温度にて加熱して熱間塑性加工するのは、延性の低下を防止するためである。

- [0025] 上記の耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法において、押出比6以上で押出加工することにより、靱性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

- [0026] [図1]本発明の一実施の形態における耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法の第1の例を示すフロー図である。

[図2]本発明の一実施の形態における耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法の第2の例を示すフロー図である。

[図3]引張り試験片を示す正面図である。

[図4]衝撃試験片の正面図(a)、断面図(b)およびノッチ部の拡大図(c)である。

符号の説明

- [0027] 1 引張り試験片
2 衝撃試験片
2a ノッチ部

発明を実施するための最良の形態

- [0028] 以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。

- [0029] 本発明の一実施の形態における耐熱・高靱性アルミニウム合金は、シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムの1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成を有している。また、本実施の形態の耐熱・高靱性アルミニウム合金は、ガスアトマイズにより作製されたアルミニウム合金粉末を緻密化して得られたものであり、かつシリコンの平均結晶粒径が4 μ m以下である。

- [0030] また、本実施の形態の耐熱・高靱性アルミニウム合金には、チタンが0.5mass%以上2mass%以下で含有されていることが好ましい。また、本実施の形態の耐熱・高靱

性アルミニウム合金は、 $2.8\text{Mg}/\text{m}^3$ 以下の密度を有していることが好ましい。

- [0031] また、本実施の形態の耐熱・高靱性アルミニウム合金を熱間塑性加工することにより、ピストンが製造される。
- [0032] 次に、本実施の形態の耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法について説明する。
- [0033] 図1は、本発明の一実施の形態における耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法の第1の例を示すフロー図である。図1を参照して、まず、所定の組成の溶湯が準備される(ステップS1)。この溶湯の組成は、シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムの1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下で含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成である。また、チタンが0.5mass%以上2mass%以下で含有されていることが好ましい。
- [0034] 次に、上記の溶湯がガスアトマイズとしてエアアトマイズされて、上記溶湯からアルミニウム合金粉末が作製される(ステップS2)。このアルミニウム合金粉末が冷間にて圧縮成形加工されて予備成形体が作製される(ステップS3)。この予備成形体が雰囲気炉にて400℃以上510℃以下の温度に昇温された後、5時間以下の時間、その温度範囲に保持される(ステップS4)。この加熱された予備成形体が熱間塑性加工により緻密化されて緻密体が作製される(ステップS5)。この予備成形体の熱間塑性加工は、たとえば押出比6以上での押出加工であることが好ましい。この緻密体が、切断などされた後、上記予備成形体の加熱温度(400℃以上510℃以下の温度)以下の温度に加熱されて熱間塑性加工される(ステップS6)。これにより、シリコンの平均結晶粒径が $4\mu\text{m}$ 以下となるように本実施の形態の耐熱・高靱性アルミニウム合金が製造される。
- [0035] この後、たとえば試験片としての形状に加工され(ステップS7)、この後、後述の材料試験(引張試験、シャルピー衝撃試験)に供される(ステップS8)。
- [0036] 図2は、本発明の一実施の形態における耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法の第2の例を示すフロー図である。図2を参照して、本方法は、図1に示した方法と

比較して、ステップS1からステップS5までは同様のステップを経る。このステップS5の後、本方法においては、押出法により緻密化された押出材（緻密体）が切断される（ステップS11）。切断された押出材は加熱され（ステップS12）、塑性加工（据え込み）を施され（ステップS13）、熱処理を施される（ステップS14）。

[0037] この後は、本方法においても、図1に示した方法と同様、たとえば試験片としての形状に加工され（ステップS7）、この後、後述の材料試験（引張試験、シャルピー衝撃試験）に供される（ステップS8）。

実施例 1

[0038] 次に、本発明の実施例について説明する。

[0039] まず、以下の表1に示す各組成の溶湯を準備し、図1に示すフローにて引張り試験片および衝撃試験片を作製した。また、引張り試験片および衝撃試験片の形状は図3および図4に示す形状とした。図3は引張り試験片1を示す正面図であり、図4(a)、(b)および(c)は衝撃試験片2の正面図、断面図およびノッチ部2aの拡大図である。

[0040] 上記のようにして得られた試験片について、Si晶の大きさ（Siの平均結晶粒径）と、300℃での引張り強さおよび伸びと、室温（20℃）での引張り強さおよび伸びと、衝撃値と、密度とを調べた。その結果を表2に示す。また、表2には、上記の試験片の作製時における予備成形体の固化温度と、予備成形体の加熱後の保持時間と、加熱した予備成形体の押出比と、溶体化温度と、人工時効温度とを併せて示す。

[0041] [表1]

試料 番号	組成 (mass%)								
	Si	Fe	Ni	Ti	Gr	Zr	V	Cu	Mg
本発明例	1	10	2	1.1	-	-	-	1	0.5
	2	12	2.1	1.2	-	-	-	0.9	0.7
	3	13	2.1	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	4	15	1.9	1.6	-	-	-	1.3	0.6
	5	16	2.1	1.4	-	-	-	1.4	0.8
	6	13	1.1	1	-	-	-	1.5	1
	7	13	2.8	1.5	-	-	-	1.4	0.6
	8	13	2.1	1.3	-	-	-	1.3	1
	9	13	1.2	1.2	-	-	-	1	1.1
	10	13	2	0.5	-	-	-	1.1	0.5
	11	13	1.8	1.8	-	-	-	0.9	0.8
	12	13	1.8	-	1.2	-	-	0.8	0.6
	13	13	1.9	-	-	-	1.3	1.1	0.5
	14	13	1.8	1.4	-	1.2	-	1	0.8
	15	13	1.9	1.5	1.1	-	-	0.6	0.9
比較例	16	13	2	1	-	-	-	2.8	1
	17	13	1.8	1	-	-	-	0.9	0.4
	18	13	2.1	1.3	-	-	-	1.1	1.5
	19	8	2.3	0.9	-	-	-	1.1	0.5
	20	18	2	1.2	-	-	-	1.4	0.6
	21	13	4	1	-	-	-	1.2	0.8
	22	13	-	1.1	-	-	-	1.1	0.7
	23	13	3	0.8	-	-	-	1	1
	24	13	0.8	0.8	-	-	-	1.2	0.8
	25	13	2.2	2.2	-	-	-	1	1
	26	13	2.1	0.2	-	-	-	1	0.9
	27	13	2.1	1.1	-	-	-	3.5	0.7
	28	13	2.1	1	-	-	-	0.2	0.8
	29	13	2	0.9	-	-	-	0.9	2.5
	30	13	2.4	0.9	-	-	-	0.8	0.1

[0042] [表2]

試料 番号	固化温度 (°C)	昇温後の 保持時間 (min)	押出比	溶体化 温度 (°C)	人工時効 温度 (°C)	Si 晶の 大きさ (μm)	300°C 引張強さ (MPa)	300°C 伸び(%)	20°C 引張強さ (MPa)	20°C 伸び(%)	衝撃値 (J/cm^2)	密度 (Ng/m^3)
本発明例	1	480	60	8	470	200	1.9	105	35	390	4.5	2.75
	2	480	60	8	470	200	2.2	110	31	400	3.9	2.74
	3	480	60	8	470	200	1.7	120	30	410	2.7	2.74
	4	480	60	8	470	200	1.8	128	28	420	2.4	2.73
	5	480	60	8	470	200	2.5	135	20	432	2.3	2.72
	6	480	60	8	470	200	1.7	105	33	402	3.8	2.71
	7	480	60	8	470	200	1.8	130	28	423	2.2	2.76
	8	480	60	8	470	200	2.2	115	31	410	3.1	2.74
	9	480	60	8	470	200	2.1	125	29	435	2.1	3.74
	10	480	60	8	470	200	2.3	121	31	400	4.5	2.73
	11	480	60	8	470	200	2.6	135	25	441	2.2	2.72
	12	480	60	8	470	200	2.1	131	30	450	2.5	2.74
	13	480	60	8	470	200	2.0	125	27	443	2.4	2.75
	14	480	60	8	470	200	2.1	130	28	440	2.6	2.73
	15	480	60	8	470	200	2.2	110	33	410	3.1	2.68
	16	480	60	8	470	200	1.8	115	29	430	2.2	2.79
	17	480	60	8	470	200	1.7	118	31	405	3.1	2.74
	18	480	60	8	470	200	2.1	120	35	440	2.1	2.72
比較例	19	480	60	8	470	200	1.8	65	40	370	4.9	2.78
	20	480	60	8	470	200	2.8	170	15	390	1.8	2.72
	21	480	60	8	470	200	2.1	110	16	430	1.8	2.75
	22	480	60	8	470	200	2.3	100	15	440	1.7	2.75
	23	480	60	8	470	200	2.1	180	12	460	1.2	2.77
	24	480	60	8	470	200	2.0	70	32	380	5.2	2.70
	25	480	60	8	470	200	2.5	135	15	470	1.5	2.75
	26	480	60	8	470	200	1.8	80	35	370	3.5	2.71
	27	480	60	8	470	200	1.9	110	29	430	2	2.80
	28	480	60	8	470	200	2.3	90	36	380	3.6	2.70
	29	480	60	8	470	200	2.2	110	38	460	0.8	2.70
	30	480	60	8	470	200	2.4	105	29	370	3	2.75

- [0043] 表1および表2における本発明例No. 1〜5および比較例No. 19、No. 20の結果より、Siの添加量を10mass%以上16mass%以下にすることにより、強度と靱性のバランスの取れた材料を得ることができた。Siの添加量が16mass%より多いと延性が損なわれ(比較例No. 20)、Siの添加量が10mass%より少なくなると強度が低下した(比較例No. 19)。
- [0044] また、本発明例No. 6〜9および比較例No. 21〜24の結果より、Fe、Niの添加量をそれぞれ1mass%以上3mass%以下、1mass%以上2mass%以下の範囲内にすることにより、耐熱性と靱性とのバランスの取れた材料を得ることができた。Fe、Niの添加量のそれぞれを単独で上記範囲を超えて多量に添加して耐熱性を出そうとしても、粗大な金属間化合物が析出して靱性が損なわれ(比較例No. 21、22)、また上記の範囲よりも添加量が少なくなると耐熱性が損なわれた。また、FeとNiとの双方を添加する場合においても、上記と同様、FeとNiとの添加量が多すぎると粗大な金属間化合物が析出して靱性が損なわれ(比較例No. 23)、添加量が少なすぎると耐熱性が損なわれた(比較例No. 24)。
- [0045] また、本発明例No. 10〜14および比較例No. 25、26の結果より、Tiの添加量を0.5mass%以上2mass%以下の範囲内にすることにより、強度と靱性とのバランスが取れた材料を得ることができた。また、Tiの代わりにZr、Cr、Vを添加することによっても同様の効果を得ることができた。これらの成分(TiZr、Cr、V)の総添加量が2mass%を超えて多すぎると靱性が損なわれ(比較例No. 25)、0.5mass%よりも少なすぎると強度が低下した(比較例No. 26)。
- [0046] また、本発明例No. 15、16および比較例No. 27、28の結果より、Cuの添加量を0.6mass%以上3mass%以下の範囲内にすることにより、強度と密度とのバランスが取れた材料を得ることができた。Cuの添加量が3mass%を超えて多すぎると密度が上がり(比較例No. 27)、添加量が0.6mass%よりも少なすぎると強度が低下した(比較例No. 28)。
- [0047] また、本発明例No. 17、18および比較例No. 29、30の結果より、Mgの添加量を0.2mass%以上2mass%以下の範囲内にすることにより、強度と靱性とのバランスが取れた材料を得ることができた。Mgの添加量が2mass%を超えて多すぎると靱性

が低下し(比較例No. 29)、添加量が0.2mass%より少なくなると強度が低下した(比較例No. 30)。

実施例 2

[0048] 緻密化時の加熱条件が特性に与える影響について調べた。

[0049] まず、以下の表3に示す各組成の溶湯を準備し、図1に示すフローにて引張り試験片および衝撃試験片を作製した。また、引張り試験片および衝撃試験片の形状は図3および図4に示す形状とした。

[0050] 上記のようにして得られた試験片について、Si晶の大きさ(Siの平均結晶粒径)と、300℃での引張り強さおよび伸びと、室温(20℃)での引張り強さおよび伸びと、衝撃値と、密度とを調べた。その結果を表4に示す。また、表4には、上記の試験片の作製時における予備成形体の固化温度と、予備成形体の加熱後の保持時間と、加熱した予備成形体の押出比と、溶体化温度と、人工時効温度とを併せて示す。

[0051] [表3]

	試料 番号	組成 (mass%)								
		Si	Fe	Ni	Ti	Cr	Zr	V	Cu	Mg
本発明例	31	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	32	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	33	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	34	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
比較例	35	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	36	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
本発明例	37	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	34	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	38	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
比較例	39	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7

[0052] [表4]

	試料 番号	固化温度 (°C)	昇温後の 保持時間 (min)	押出比	溶体化 温度 (°C)	人工時効 温度 (°C)	Si 晶の 大きさ (μm)	300°C 引張強さ (MPa)	300°C 伸び(%)	20°C 引張強さ (MPa)	20°C 伸び(%)	衝撃値 (J/cm ²)	密度 (Mg/m ³)
本発明例	31	400	60	8	390	200	1.5	145	22	420	3.5	2.5	2.74
	32	430	60	8	420	200	1.5	130	28	411	4.5	2.7	2.74
	33	480	60	8	470	200	1.7	120	30	410	6.0	2.7	2.74
	34	510	60	8	500	200	2.5	115	33	403	6.5	3.4	2.74
比較例	35	530	60	8	520	200	4.5	105	20	360	2.4	2.0	2.74
	36	380	60	8	370	200	1.4	148	19	430	2.1	1.7	2.74
本発明例	37	510	30	8	500	200	1.9	120	32	420	5.7	2.8	2.74
	34	510	180	8	500	200	2.5	115	33	403	6.5	3.4	2.74
	38	510	270	8	500	200	2.8	100	36	380	6.6	3	2.74
比較例	39	510	330	8	500	200	3.3	85	30	360	4.1	2.5	2.74

[0053] 表3および表4における本発明例No. 31〜34および比較例No. 35、36の結果より、固化工程において、直前に予備成形体を加熱保持するときの温度を400℃以上510℃以下の範囲内にすることにより、強度と靱性とのバランスが取れた材料を得ることができた。固化温度が510℃を超えて高すぎると強度が低下するとともに、Si晶の粗大化を招き、このSi晶が応力集中源として作用することにより延性も低下した(比較例No. 35)。また、固化温度が400℃よりも低くなると強度が向上するが、靱性が損なわれた(比較例No. 36)。

[0054] また、本発明例No. 37、38および比較例No. 39の結果より、予備成形体を加熱し固化するときの加熱後の保持時間を5時間以内にするにより、強度の低下およびSi晶の粗大化による延性の低下を防ぐことができた。この加熱後の保持時間が5時間を超えて長くなるとSi晶が粗大化し、強度、延性ともに低下した(比較例No. 39)。

実施例 3

[0055] 緻密化時の塑性加工方法の影響について調べた。

[0056] まず、以下の表5に示す各組成の溶湯を準備し、図1に示すフローにて引張り試験片および衝撃試験片を作製した。また、引張り試験片および衝撃試験片の形状は図3および図4に示す形状とした。

[0057] 上記のようにして得られた試験片について、Si晶の大きさ(Siの平均結晶粒径)と、300℃での引張り強さおよび伸びと、室温(20℃)での引張り強さおよび伸びと、衝撃値と、密度とを調べた。その結果を表6に示す。また、表6には、上記の試験片の作製時における予備成形体の固化温度と、予備成形体の加熱後の保持時間と、加熱した予備成形体の押出比と、溶体化温度と、人工時効温度とを併せて示す。

[0058] [表5]

	試料 番号	組成 (mass%)								
		Si	Fe	Ni	Ti	Cr	Zr	V	Cu	Mg
本発明例	40	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	41	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	42	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	43	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
比較例	44	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	45	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7

[0059] [表6]

	試料 番号	固化温度 (°C)	昇温後の 保持時間 (min)	押出比	溶体化 温度 (°C)	人工時効 温度 (°C)	Si 晶の 大きさ (μm)	300°C 引張強さ (MPa)	300°C 伸び (%)	20°C 引張強さ (MPa)	20°C 伸び (%)	衝撃値 (J/cm ²)	密度 (Mg/m ³)
本発明例	40	480	60	6	470	200	1.5	145	30	420	4.5	2.5	2.74
	41	480	60	8	470	200	1.5	142	32	425	4.5	2.7	2.74
	42	480	60	10	470	200	1.7	144	32	430	5.0	2.7	2.74
	43	480	60	12	470	200	1.8	140	35	425	6.5	2.8	2.74
比較例	44	480	60	2	470	200	2.0	105	6	360	0.8	0.5	2.73
	45	480	60	4	470	200	1.5	110	8	370	0.9	0.6	2.74

[0060] 表5および表6における本発明例No. 40～43および比較例No. 44、45の結果より、緻密化工程において、押出法を用いる場合、その押出比を6以上とすることにより、強度と靱性とのバランスが取れた合金を得ることができた。押出比が6よりも低くなる場合、靱性が著しく低下した(比較例No. 44、45)。

実施例 4

[0061] 実施例1にて作製した本発明例No. 4の素材を図2のフローに従って、熱間塑性加工を行なった。その素材より図3および図4に示す形状の試験片を切出し、材料特性を評価した。その製造条件と評価結果を表7および表8に示す。

[0062] [表7]

	試料 番号	組成 (mass%)								
		Si	Fe	Ni	Ti	Cr	Zr	V	Cu	Mg
本発明例	46	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	47	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	48	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	49	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
比較例	50	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7
	51	13	2.1	1.4	0.9	-	-	-	1.1	0.7

[0063] [表8]

	試料 番号	固化 温度 (°C)	昇温後の 保持時間 (min)	押出 比	押出材 加熱温度 (°C)	溶体化 温度 (°C)	人工時効 温度 (°C)	Si 晶の 大きさ (μm)	300°C 引張強さ (MPa)	300°C 伸び (%)	20°C 引張強さ (MPa)	20°C 伸び (%)	衝撃値 (J/cm ²)	密度 (Mg/m ³)
本発明例	46	480	60	8	400	470	200	1.8	145	35	420	5.0	3	2.74
	47	480	60	8	450	470	200	1.9	142	38	425	5.5	3.5	2.74
	48	480	60	8	460	470	200	1.8	141	40	422	6.0	3.3	2.74
	49	480	60	8	480	470	200	2.0	135	42	420	6.5	3.2	2.74
比較例	50	480	60	8	500	490	200	4.5	95	25	380	4.0	2.8	2.74
	51	480	60	8	520	500	200	6.4	90	18	370	3.0	2	2.74

[0064] 表7および表8における本発明例No. 46〜49および比較例No. 50、51の結果より、押出材の固化温度よりも高い温度にて熱間塑性加工をした素材の特性は強度、延性ともに低下した(比較例No. 50、51)。

[0065] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

産業上の利用可能性

[0066] 本発明の耐熱・高靱性アルミニウム合金は、耐熱性と靱性を要求される自動車エンジン部品用、特にピストン用材料として有利に適用される。

請求の範囲

- [1] シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムよりなる群から選ばれる1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成を有し、かつガスアトマイズにより作製されたアルミニウム合金粉末を緻密化して得られ、かつシリコンの平均結晶粒径が $4\mu\text{m}$ 以下である、耐熱・高靱性アルミニウム合金。
- [2] チタンを0.5mass%以上2mass%以下で含有することを特徴とする、請求項1に記載の耐熱・高靱性アルミニウム合金。
- [3] $2.8\text{Mg}/\text{m}^3$ 以下の密度を有することを特徴とする、請求項1または2に記載の耐熱・高靱性アルミニウム合金。
- [4] 請求項1〜3のいずれかに記載の耐熱・高靱性アルミニウム合金を熱間塑性加工して製造されたことを特徴とする、エンジン部品。
- [5] 前記エンジン部品はピストンであることを特徴とする、請求項4に記載のエンジン部品。
- [6] シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムよりなる群から選ばれる1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下で含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成のアルミニウム合金粉末をガスアトマイズにより作製する工程と、
前記アルミニウム合金粉末を冷間にて成形加工して予備成形体を得る工程と、
前記予備成形体を 400°C 以上 510°C 以下の温度に昇温後、5時間以下の時間、前記温度範囲に保持する工程と、
加熱した前記予備成形体を熱間塑性加工により緻密化して緻密体を得る工程とを備え、
これによりシリコンの平均結晶粒径が $4\mu\text{m}$ 以下となるようにアルミニウム合金を製

造する、耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法。

- [7] シリコンを10mass%以上16mass%以下、鉄を1mass%以上3mass%以下、ニッケルを1mass%以上2mass%以下、チタン、ジルコニウム、クロムおよびバナジウムよりなる群から選ばれる1種以上を総量で0.5mass%以上2mass%以下、銅を0.6mass%以上3mass%以下、マグネシウムを0.2mass%以上2mass%以下で含有し、残部が実質的にアルミニウムからなる組成のアルミニウム合金粉末をガスアトマイズにより作製する工程と、

前記アルミニウム合金粉末を冷間にて成形加工して予備成形体を得る工程と、

前記予備成形体を400℃以上510℃以下の温度に昇温後、5時間以下の時間、前記温度範囲に保持する工程と、

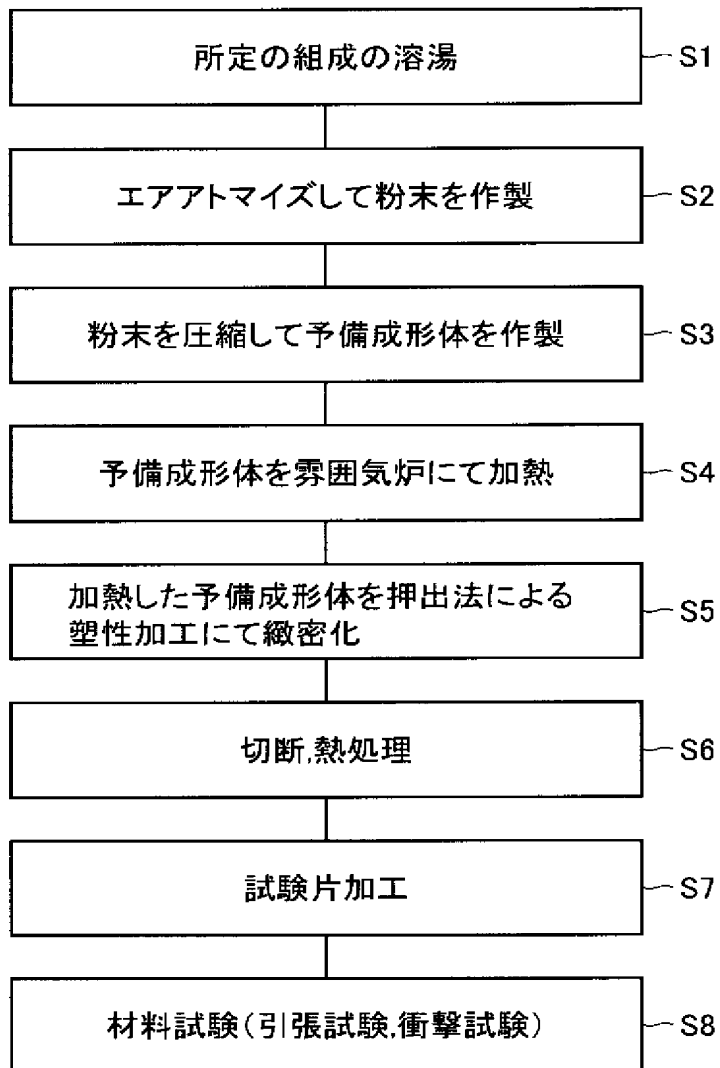
加熱した前記予備成形体を熱間塑性加工により緻密化して緻密体を得る工程と、

前記緻密体を、前記予備成形体の加熱温度以下の温度に加熱して熱間塑性加工する工程とを備え、

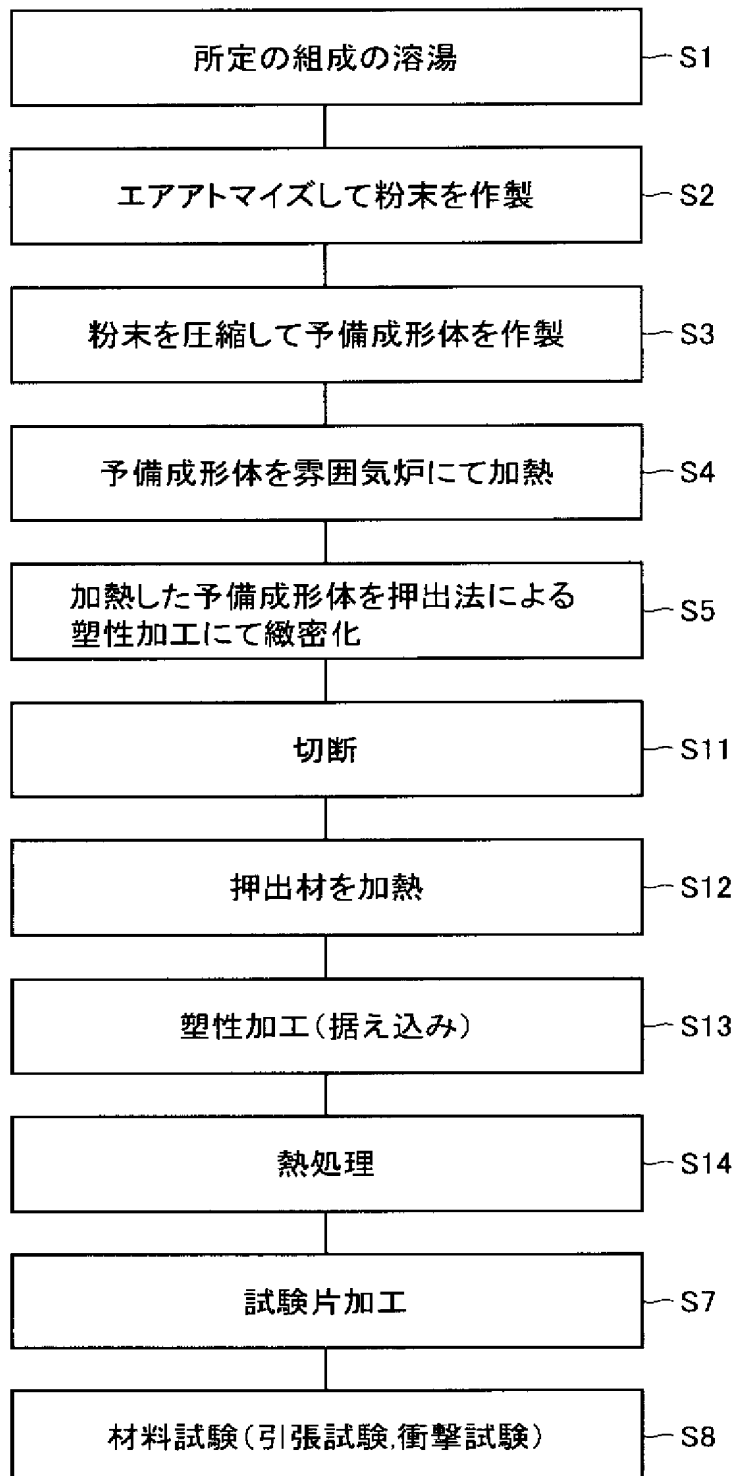
これによりシリコンの平均結晶粒径が4 μ m以下となるようにアルミニウム合金を製造する、耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法。

- [8] 加熱した前記予備成形体を熱間塑性加工する工程は、押出比6以上で押出加工することを含むことを特徴とする、請求項6または7に記載の耐熱・高靱性アルミニウム合金の製造方法。

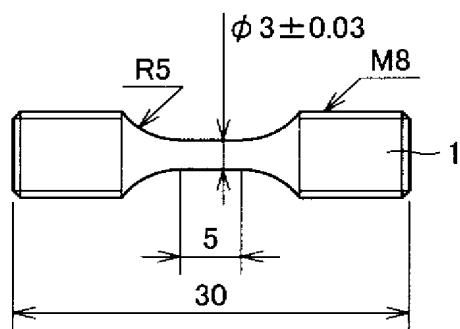
[図1]



[図2]

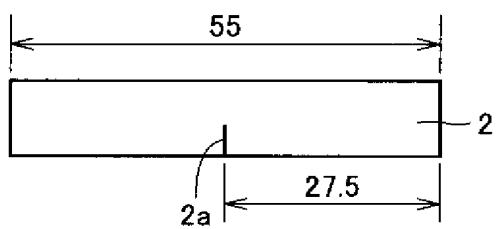


[図3]

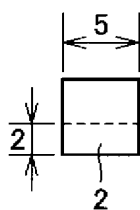


[図4]

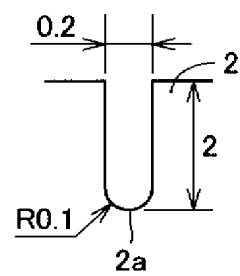
(a)



(b)



(c)ノッチ部拡大



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017949

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ C22C21/02, C22C1/04, B22F3/17, B22F3/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ C22C21/02, C22C1/04, B22F3/17, B22F3/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 62-83444 A (Research Association of	1-5
Y	Aluminium Powder Metallurgy), 16 April, 1987 (16.04.87), Claims; page 2, lower left column, lines 4 to 15; examples (Family: none)	6-8
Y	JP 2003-277867 A (Nippon Light Metal Co., Ltd.), 02 October, 2003 (02.10.03), Claims; Par. No. [0017]; examples (Family: none)	6-8
Y	JP 63-192838 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 10 August, 1988 (10.08.88), Claims; examples (Family: none)	6-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 February, 2005 (18.02.05)

Date of mailing of the international search report
08 March, 2005 (08.03.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/017949

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-48601 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 21 February, 1995 (21.02.95), Claims; Par. No. [0021]; examples (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ C22C21/02, C22C1/04, B22F3/17, B22F3/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ C22C21/02, C22C1/04, B22F3/17, B22F3/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2005年

日本国登録実用新案公報 1994-2005年

日本国実用新案登録公報 1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 62-83444 A (アルミニウム粉末冶金技術研究組合) 1987. 04. 16, 特許請求の範囲, 第2頁左下欄第4-15行, 実施例 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2003-277867 A (日本軽金属株式会社) 2003. 10. 02, 特許請求の範囲, 【0017】, 実施例 (ファミリーなし)	6-8
Y	JP 63-192838 A (昭和電工株式会社) 1988. 08. 10, 特許請求の範囲, 実施例 (ファミリーなし)	6-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 02. 2005

国際調査報告の発送日

08. 3. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

井上 猛

4 K

9 2 6 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 7-48601 A (住友電気株式会社) 1995.02.21, 特許請求の範囲, 【0021】, 実施例 (ファミリーなし)	1-8